



Control de Motores sin Escobillas (BLDC) y con Sensores usando el Microcontrolador ARM Cortex3 con 32 bits de LpcXpresso.

Sergio Palma S. ⁽¹⁾; Geovanny Toro R. ⁽¹⁾; Ing. Carlos Valdivieso A. ⁽²⁾

¹ Miembro del Seminario previa la obtención del Título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones.

² Director de Tesina, profesor de la ESPOL.

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Campus Prosperina, Km. 30.5 vía Perimetral,

Guayaquil, Ecuador

{spalma, gtoro, cvaldivieso}@fiec.espol.edu.ec

Resumen

El principal objetivo de este trabajo es el implementar técnicas y destrezas, aprendidas en nuestra vida académica especialmente en lo que se refiere al uso de microcontroladores aplicados al control de motores sin escobillas (BLDC) que utilizan sensores. Para lo cual se deberá tener en cuenta las características de los dispositivos a emplearse, la programación y la optimización de rutinas. Lográndose que este trabajo sirva de base para desarrollar varios otros proyectos que involucran el Control de motores sin escobillas (BLDC) con sensores. Para este trabajo se partió de la teoría básica de estos motores para luego mediante el uso de varias herramientas como el software LpcXpresso y Proteus lograr programar el cerebro del kit de desarrollo de las tarjetas Lpc1114 y Lpc1769. Estos kits están constituidos principalmente por un microcontrolador ARM Cortex3 con 32 bits de LpcXpresso. Con los cuales la empresa NXP ha desarrollado una plataforma universal para control de motores. La innovadora tecnología de NXP nos permitió analizar y controlar el comportamiento de motores BLDC con sensores de efecto hall, con la posibilidad de permitir la interacción con otros microcontroladores, desde los cuales se pueden enviar señales de control.

Palabras Claves: Microcontroladores, Programación, Motores sin Escobillas, Sensores, Efecto Hall, BLDC, LPCXPRESO, PROTEUS, NXP, Control de Motores, ARM Cortex3.

Abstract

The main objective of this work is to implement techniques and skills learned in our academic life especially in regard to the use of microcontrollers applied to the control of brushless motors (BLDC) that use sensors. For this we must take into account the characteristics of the devices used, the programming and the optimization routines. Achieving that this work serve as base to develop several other projects that involve the control of brushless motors (BLDC) with sensors. For this work it began of the basic theory of these motors for then through the use of various tools such as the software LpcXpresso and Proteus, achieve to program the brain development kit LPC1114 and Lpc1769 cards. These kits are constituted mainly by an ARM Cortex3 microcontroller with 32 bit of LpcXpresso. With which the company NXP has developed a universal platform for motor control. Innovative technology from NXP allowed us to analyze and control the behavior of BLDC motors with sensors of hall effect, with the possibility of allowing interaction with other microcontrollers, from which you can send control signals.

Keywords: Microcontrollers, Programming, Brushless Motors, Sensors, Hall Effect, BLDC, LPCXPRESO, PROTEUS, NXP, Motor Control, ARM Cortex3.

1. Introducción

Los motores eléctricos sin escobillas se han venido utilizando desde hace años en la industria en general, aplicándose en grandes servos, aire acondicionado, ventiladores etc., y su ventaja es que al estar libres de mantenimiento pueden durar muchos años. También se han venido utilizando en los aviones y barcos a control remoto. Sin embargo hasta ahora no se ha dispuesto de una tecnología lo suficientemente pequeña y económica como para aplicarla a los coches de RC. Esto se debe a que los controles del motor son más exigentes en los coches, y a que en los barcos y aviones los frenos no tienen tanta importancia como en los coches.

El objetivo del proyecto es desarrollar e implementar un grupo de ejercicios claves que permitan comprender toda la teoría y el funcionamiento referente al control de motores sin escobillas. Tratando de darle un uso adecuado y diversificado a los ejercicios, aprovechando las diferentes herramientas que dispone el LPCXPRESSO y demás elementos; para de este modo facilitar la comprensión y entendimiento de esta interfaz de comunicación y control aplicado a la lectura y la enseñanza.

La motivación para la implementación de este sistema se debe a la poca utilización de energía que caracteriza al motor BLDC, al mantener un óptimo control sobre la velocidad de dicho motor el consumo de energía se ve reducido, a diferencia de los motores con escobillas.

Empezaremos a trabajar en proyectos con motores BLDC con sensores utilizándolos en diferentes aplicaciones y comunicaciones como UART, I2C, SPI, utilizando una herramienta muy útil en muchos de estos proyectos la tarjeta AVR Butterfly (con microcontrolador ATmega169) uno de los problemas que tendremos que solucionar es el correcto funcionamiento del motor en la etapa final de estos trabajos con esta nueva tecnología de NXP que es el LPCXPRESSO mediante la tarjeta LPC1769 de 32 bits y el kit de control del motor, donde nosotros debemos manipular, corregir o modificar configuraciones y códigos con sus respectivas librerías para el correcto control del motor de una manera muy sencilla para que los otros proyectos puedan comprender fácilmente y hacer uso de nuestro trabajo de esta manera resuelvan sus problemas en sus respectivos proyectos.

AL desarrollar este proyecto tendremos algunas limitaciones en aspectos de interés tales como trabajar por primera vez con los controladores de la familia ARM CORTEX de LPCXPRESSO lo que implica la importancia del aprendizaje de esta nueva tecnología de NXP como: bloques, componentes, dispositivos y

arquitectura que comprenden cada uno de las tarjetas, tanto de la LPC1114 como de la LPC1769.

2. Fundamento Teórico

El proyecto se lo puede dividir básicamente en dos partes esenciales: Software y Hardware, ambos indispensables para la elaboración del proyecto. El software que se utilizará para la programación de los microcontroladores requeridos en el proyecto es:

- LPCXPRESSO 4.0
- PROTEUS 7.

El hardware que se utilizará para desarrollar el proyecto principalmente es:

- LPCXpresso Motor Control Kit
- LPCXpresso LPC1114
- LPCXpresso LPC1769
- Motor BLDC

2.1. LpcXpresso 4.0

LPCXPRESSO es una nueva plataforma de bajo costo de desarrollo disponible de NXP. El software consiste en un aumento, IDE basado en Eclipse, un compilador de C de GNU, enlazador, librerías, y un mayor depurador GDB. El hardware consiste en la placa de desarrollo LPCXPRESSO que tiene una interfaz de depuración LPC-Link y un NXP LPC basado en ARM microcontrolador objetivo [10].



Figura 1. LPCXPRESSO 4.0 [10]

2.2. Proteus 7

PROTEUS es una herramienta software que permite la simulación de circuitos electrónicos con microcontroladores como el PIC16F877 para dominar el control de motor sin escobillas con sensores. Sus reconocidas prestaciones lo han convertido en el más popular y completo simulador software para este tipo de microsPICS y motores BLDC. Esta herramienta es una solución de extremo a extremo, permitiéndonos desarrollar, analizar y comprender sus aplicaciones desde la evaluación inicial hasta la producción final sobre el control de un motor las cuales pueden ser incrementar y decrementar la velocidad del mismo, como también cambiar el sentido de giro del motor BLDC. [3]



Figura 2. Proteus.

2.3. LpcXpresso Motor Control Kit

Es una plataforma universal para el control de baja tensión del motor sobre la base de Microcontroladores de NXP. Está diseñada específicamente para controlar BLDC, BLAC, paso a paso y de doble cepillado motores de corriente continua. La plataforma apoya directamente el control a través de la LPCXPRESSO LPC1114 [7].

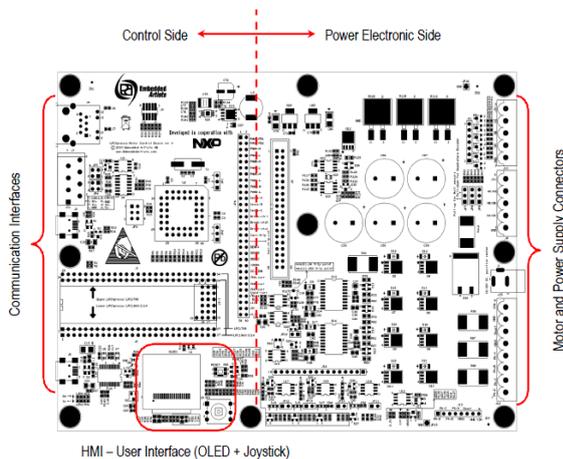


Figura 3. Vista de los principales componentes de la tarjeta del motor control [7]

2.4. LpcXpresso LPC1114

El LPC1114 es un procesador basado en ARM Cortex-M0, de bajo costo de 32-bit, diseñado para aplicaciones de microcontrolador 8/16-bit, que ofrece un rendimiento buen rendimiento, bajo consumo de potencia, simple conjunto de instrucciones y fácil direccionamiento de memoria, junto con el tamaño de código reducido en comparación con arquitecturas existentes 8/16-bit. El LPC1114 opera en frecuencias de la CPU de hasta 50MHz, incluye un máximo de 32 kB de memoria flash de memoria, hasta 8 KB de memoria de datos, un modo de interfaz I2C-bus, una conexión para RS-485/EIA-485 UART, y posee dos interfaces SPI con las características del SSP, cuatro contadores / temporizadores de propósito general, un ADC de 10 bits, y 42 entradas o salidas I/O pins [8].

2.5. LpcXpresso LPC1769

EL PC1769 está equipado con un motor dedicado de control PWM que reduce la utilización de la CPU durante el control del motor mientras que también reduce el tiempo de desarrollo. Esta nota de aplicación también pretende ser una referencia y punto de partida para que los desarrolladores del motor del sistema de control que utilizan los microcontroladores de la familia LPC1769 [10].

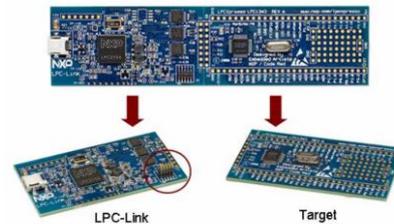


Figura 4. Tarjeta Lpcxpresso [10]

2.6. Motores sin Escobillas (BLDC)

Estos motores llegan una con el desarrollo de los transistores y de otros dispositivos semiconductores de conmutación. Su función principal es proporcionar conmutación electrónica entre arrollamientos de fase, lo que conlleva a un mejor control de los motores, también ofrecen una mayor eficacia en la inducción y en el sincronismo del motor. Cabe recalcar una ventaja importante sobre los motores con escobillas, los cuales producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor, son ruidosos y requieren una sustitución periódica y, por tanto, un mayor mantenimiento [2].

Tabla 1. Motor BLCD vs. Motor DC con Escobillas [2]

	MOTOR BLCD	MOTOR DC CON ESCOBILLAS
Conmutación	Conmutación electrónica basada en sensores de posición de efecto Hall	Conmutación por escobillas
Mantenimiento	Mínimo	Periódico
Durabilidad	Mayor	Menor
Curva Velocidad/Par	Plana. Operación a todas las velocidades con	Plana. Operación a todas las velocidades con
Eficiencia	Alta. Sin caída de tensión por las escobillas	Moderada
Potencia de Salida/Tamaño	Alta. Menor tamaño debido a menores	Baja.
Rango de Velocidad	Alto. Sin limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/conmutador	Bajo. El límite lo imponen principalmente las escobillas
Ruido eléctrico generado	Bajo	Arcos en las escobillas
Coste de construcción	Alto. Debido a los imanes permanentes	Bajo
Control	Complejo y caro	Simple y barato

3. Diseño e implementación

El conjunto de ejercicios que se especifican más adelante estará compuesto de varios elementos, muchos de los cuales se les da el mismo uso en todos los ejercicios como el Protoboard es una placa de uso genérico reutilizable o semipermanente, usado para construir prototipos de circuitos electrónicos con o sin soldadura. Normalmente se utilizan para la realización de pruebas experimentales, como en nuestro caso. Eficiencia de las Administraciones. Una telemedicina universal más barata y accesible, mejor educación, pago remoto de impuestos y declaraciones de la renta, etc. Todo ello es positivo para los presupuestos públicos y para el medio ambiente.

A continuación se describen detalladamente uno a uno los ejercicios del proyecto que involucran comunicaciones seriales dedicado al trabajo con microcontroladores ARM Cortex3 con 32 bits de LPCXPRESSO con aplicaciones específicas.

3.1. Controlar la rotación de Leds

La primera interacción con el LPCXPRESSO y con la tarjeta LPC1769 fue con la elaboración de un pequeño código para familiarizarnos con la manipulación y configuración de entradas y salidas de la tarjeta LPC1769. Dicha codificación estaba destinada a controlar una secuencia de luces de 8 led's los cuales están conectados a 8 salidas de la tarjeta, esta secuencia es controlada por una botonera la cual será nuestra entrada.

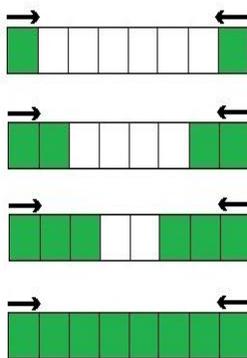


Figura 4. Secuencia 1



Figura 5. Bloques de Secuencia de Leds

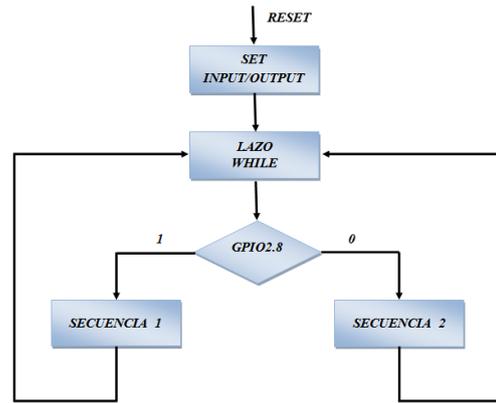


Figura 6. Flujo de Secuencia de Leds

3.2. Deshabilitación del joystick y seteo de nuevos pines de entrada para el control del motor BLCD

El primer obstáculo en la elaboración del presente proyecto fue deshabilitar el joystick y setear nuevas entradas para el control del motor BLCD para que pueda interactuar la tarjeta LPC1114 que viene incluida en el Motor control kit con la tarjeta LPC1769.

Esto se logró cambiando las entradas asignadas al joystick por nuevas disponibles en la LPC1114.

Las nuevas entradas para el control del motor BLCD son:

- PIO2.4 => On/Stop:
- PIO3.1 => Invertir giro
- PIO3.2 => Decrementar velocidad
- PIO3.3 => Incrementar velocidad

El joystick fue sustituido por 4 botoneras que cumplen las funciones antes mencionadas para el control del motor BLCD.

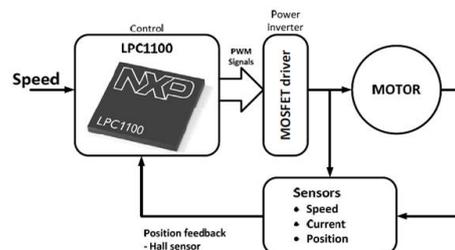
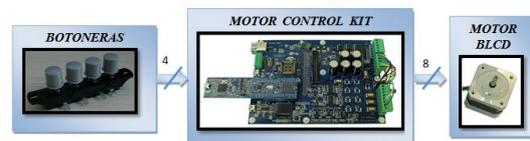


Figura 7. Diagrama de bloques del Motor Control Kit

3.3. Control del motor BLDC utilizando la Lpc1769 como interfaz para controlar la Lpc1114

Para probar la compatibilidad de nuestro proyecto con otros proyectos que no utilizan la LPC1114 sino otras tarjetas tales como la LPC1769, creamos un pequeño programa para controlar el motor utilizando como interfaz la LPC1769. La LPC1769 recibe una trama de 4 bits los cuales serán utilizados para el control de las funciones del motor BLCD las cuales se detallan en la tabla 3.

Tabla 2. Descripción de pines de entrada y la función de cada bit.

PIN	BIT	FUNCION
GPIO2.4	0	On/Stop
GPIO2.5	1	Invertir giro
GPIO2.6	2	Incrementa velocidad
GPIO2.7	3	Decrementa velocidad

Las salidas de la Tarjeta LPC1769 serán conectadas con las entradas de la tarjeta PC1114 que controlan las funciones del motor BLCD. La trama recibida va a ser simulada por cuatro botoneras conectadas a las entradas de la LPC1769.

Tabla 3. Conexión entre tarjetas y su función

SALIDA LPC1769	ENTRADA LPC1114	FUNCION
GPIO2.0	PIO2.4	On/Stop
GPIO2.1	PIO3.1	Invertir giro
GPIO2.2	PIO3.3	Incrementa velocidad
GPIO2.3	PIO3.2	Decrementa velocidad

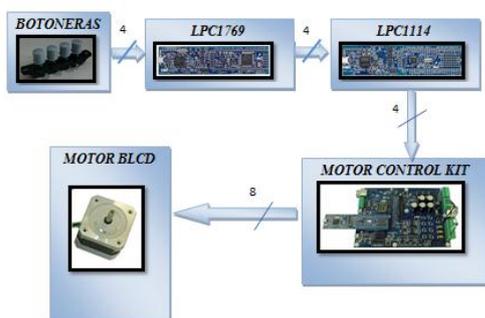


Figura 8. Bloques del Control con motor BLDC con LPC1769.

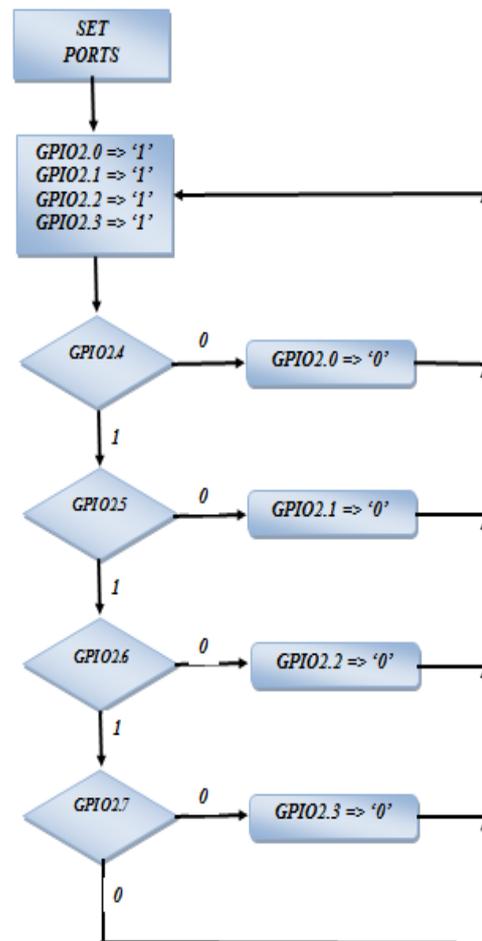


Figura 9. Flujo del Control con motor BLDC con LPC1769.

4. Pruebas y Simulaciones

En esta etapa se describen los diferentes modos de operación de los elementos que conforman los ejercicios y su funcionamiento en conjunto para la aplicación implementada. Además se realizó una simulación básica de control de motores BLDC sin escobillas con sensores mediante la plataforma PROTEUS.

4.1. Controlar la rotación de Leds

La tarjeta LPC1769 es una herramienta que nos puede ayudar a solucionar o controlar un sistema, desde aplicaciones simples como es la rotación de Leds hasta aplicaciones industriales. En este ejercicio se utilizó un programa sencillo como es el GPIO para manipular y controlar las rotaciones de Leds de una manera muy rápida y óptima.

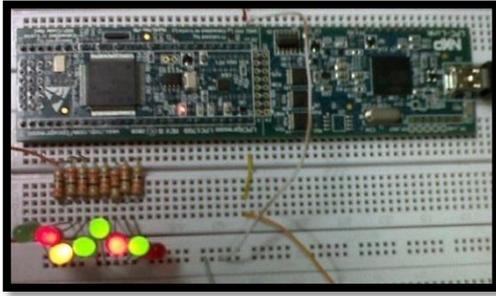


Figura 10. Implementación de secuencia de luces

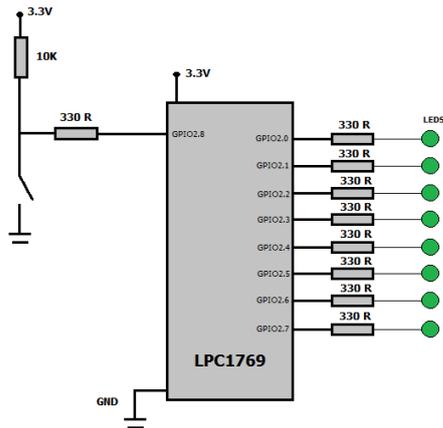


Figura 11. Conexiones de secuencia de luces

4.2. Deshabilitación del joystick y seteo de nuevos pines de entrada para el control del motor BLCD

Estudiando y revisando las especificaciones del diagrama esquemático de los puertos disponibles y habilitados para este tipo de tarjetas pudimos deshabilitar el joystick y controlar el motor mediante botonerías externas.

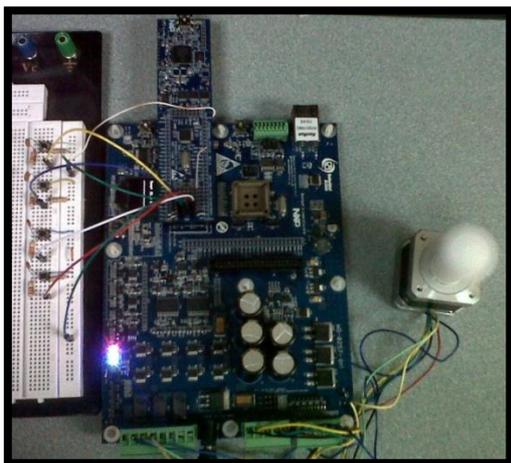


Figura 12. Implementación primera etapa

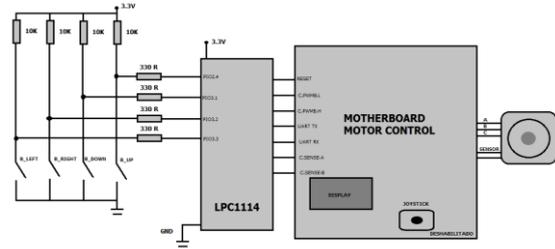


Figura 13. Conexiones de la primera etapa

4.3. Control del motor BLDC utilizando la Lpc1769 como interfaz para controlar la Lpc1114

Debido a las diferentes tecnologías de ambas tarjetas LPC1769 con Cortex3 y LPC1114 con Cortex0 fue un poco difícil poder comunicarse entre si debido a las diferentes librerías que manejan cada una de estas tarjetas pero al final llegamos a desarrollar bien el interfaz de comunicación y solucionar este problema para futuras aplicaciones.



Figura 14. Implementación etapa final

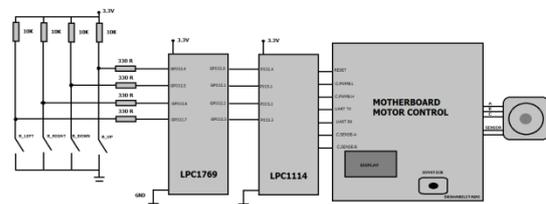


Figura 15. Conexiones de la etapa final

5. Conclusiones

En el siguiente trabajo en primera instancia no teníamos ningún conocimiento de este tipo de tecnología como es la de NXP usando el microcontrolador ARM Cortex3 con 32 bits de LPCXPRESSO pero estudiando, analizando y

realizando pruebas con manuales y datasheet pudimos llegar a controlar un motor sin escobillas (BLDC) y con sensores de una manera muy sencilla y eficiente. De esta manera solucionamos el problema del control de los motores BLDC para que así los demás proyectos puedan hacer uso del mismo de una manera muy fácil o en aplicaciones futuras.

La modificación de un programa base nos ayudó a comprender y entender los diferentes conjunto de ejercicios que implementamos así de esta manera se simplificó en gran medida debido a que los comandos o instrucciones necesarios para operar el motor; son específicos y relativamente simples. Bastó entender el funcionamiento de los mismos y ponerlos en práctica para así desarrollar cada uno de los ejercicios.

Con el desarrollo de los ejercicios y su implementación práctica pudimos darnos cuenta de las ventajas y desventajas mencionadas a lo largo del trabajo que implica el uso de las librerías para la comunicación entre los diferentes dispositivos o tarjetas LPCXPRESO, todo dependerá de la aplicación que estemos desarrollando y el uso que le queramos dar en la aplicación.

6. Agradecimientos

Agradecimientos principalmente a Dios por todo lo bueno que nos brinda a diario y por las fuerzas que nos da para seguir adelante con nuestros propósitos, a nuestros padres por la confianza y el apoyo que nos brinda para cada día ser mejores personas y poder salir adelante al Ing. Carlos Valdivieso A. Por su guía y valiosa ayuda prestada en el desarrollo de esta investigación y a todas las personas quienes contribuyeron con su conocimientos a lo largo de este proyecto.

7. Referencias

[1] Motores de Corriente Continua (DC).
<http://www.todorobot.com.ar/documentos/dc-motor.pdf>

Autor: s/a todorobot.com

[2] “Informe sobre motores” Departamento DSIE de la Universidad Politécnica de Cartagena.

www.masteringenieros.com/master/Ficheros/File/motor.pdf

Autor: Padmaraja Yedamale Microchip Technology Inc.

[3] Datasheet AN885 Microchip

http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en012127

Autor: Padmaraja Yedamale Microchip Technology Inc.

[4] Msc. Jianwen Shao. “Direct Back EMF Detection Method for Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drives”. Tesis, Virginia Polytechnic Institute and the State University.

<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-09152003-171904/unrestricted/T.pdf>

Autor: Msc. Jianwen Shao.

[5] Agustin Llamas. “Montacargas Automático”. Tesis, ESIME

<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/handle/123456789/82>

Autor: Agustin Llamas.

[6] Datasheet AN857 Microchip.

http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en012037

Autor: Ward Brown Microchip Technology Inc.

[7] LPCXpresso Motor Control Kit UserManual

http://www.nxp.com/documents/other/LPCXpresso_Motor_Control_Kit_UserManual.pdf

Autor: David shallsgatan 16 211 45 Malmö Sweden.

[8] NXP LPC1114 Datasheet.

<http://ics.nxp.com/products/lpc1000/datasheet/lpc1110.lpc1111.lpc1112.lpc1113.lpc1114.pdf>

Autor: David shallsgatan 16 211 45 Malmö Sweden.

[9] BLDC motor control with LPC1769
http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10898.pdf

Autor : David shallsgatan 16 211 45 Malmö Sweden.

[10] Getting started with NXP LPCXpresso

http://www.nxp.com/documents/other/LPCXpresso_Getting_Started_Guide.pdf

Autor: Harbison, S.P. & Steele, G.L..